

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування
Кафедра гідротехнічного будівництва та гідравліки

01-04-61М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту з навчальної дисципліни
«Управління режимами роботи гідротехнічних споруд та
гідроенергетичних об'єктів»

для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Гідроенергетика»
спеціальності 145 «Гідроенергетика»
денної, заочної та дистанційної форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
ННІВГП
Протокол № 8
від 16.03.2021 р.

Рівне – 2021

Методичні вказівки до виконання курсового проекту з навчальної дисципліни «Управління режимами роботи гідротехнічних споруд та гідроенергетичних об'єктів» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Гідроенергетика» спеціальності 145 «Гідроенергетика» денної, заочної та дистанційної форм навчання [Електронне видання] / Дем'янюк А. В., Стефанишин Д. В. – Рівне : НУВГП, 2021. – 23 с.

Укладачі: Дем'янюк А. В., старший викладач кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки;
Стефанишин Д. В., д.т.н., професор кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки.

Відповідальний за випуск: Шинкарук Л. А., к. т. н., доц.,
завідувач кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки

Керівник групи забезпечення
спеціальності 145 «Гідроенергетика»

Рябенко О. А.

© Дем'янюк А. В.,
Стефанишин Д. В., 2021
© НУВГП, 2021

Зміст

Вступ	4
1. Комплексне використання водних ресурсів	4
2. Задача оптимізації в управлінні водними ресурсами	6
2.1. Основні поняття і визначення.....	6
2.2. Розв'язання задачі оптимізації за допомогою методу множників Лагранжа	7
2.3. Розв'язання задачі оптимізації на основі економічних критеріїв оптимізації.....	8
2.4. Розв'язання задачі оптимізації на основі аналізу ризиків.....	17
Рекомендована література.....	22

Вступ

Ефективне управління роботою водосховищного гідровузла повинно забезпечувати задоволення потреб усіх учасників єдиного водогосподарського комплексу (ВГК): водоспоживачів та водокористувачів. Комплексне використання водних ресурсів є вимогою чинних ДБН В.2.4-3:2010 [1].

При багатоцільовому (комплексному) використанні водосховищ задовольнити в повному об'ємі вимоги всіх учасників ВГК та галузей в будь-який рік або сезон практично неможливо [2, 3]. Тому режими використання водних ресурсів являють собою, зазвичай, компромісні рішення, при яких неминучим є обмеження в тих чи інших розмірах інтересів всіх або частини учасників водогосподарчої системи для досягнення максимального ефекту в цілому [2, 4].

Досягнути сумарного ефекту в умовах антагонізму учасників ВГК, із врахуванням вимог екологічної безпеки, вимог до надійності гідроспоруд та обладнання [1], досить складно. Задачі, що для цього вирішуються, відносять до задач оптимізації – пошуку оптимального варіанту [5, 6].

1. Комплексне використання водних ресурсів

Задача 1. Розробити концепцію проекту розвитку/ реконструкції водосховищного гідровузла комплексного призначення, що дозволить збільшити дохід від його експлуатації за рахунок традиційних та нетрадиційних економічних ефектів, що отримуються.

Зміст проекту розвитку/ реконструкції гідротехнічного об'єкту студент вибирає із переліку:

1. план розвитку комплексу споруд Басівкутського водосховища;
2. зменшення площі затоплення земель Каховським водосховищем шляхом будівництва огорожуючих дамб;
3. будівництво на гідровузлі пункту прийому нечистот від плавучих засобів та прибережних очисних споруд для їх переробки;
4. власна пропозиція.

Проект може бути представлений в текстовій формі. При потребі може містити графічний матеріал: креслення, принципову технологічну або іншу логічну схему.

Орієнтовний перелік можливих традиційних (соціально-економічних) та нетрадиційних (соціально-екологічних) ефектів експлуатації водосховищ наведено в табл. 1 (див. також [4, 7]).

Таблиця 1

Орієнтація на корисні ефекти

Соціально-економічні ефекти	Соціально-екологічні ефекти
<ul style="list-style-type: none"> • Гідроенергетика (ГЕС, ГАЕС) • Питне водопостачання • Промислове водопостачання • Водовідведення • Водоочищення • Водний транспорт • Іригація • Водосховища-охолоджувачі ТЕС, АЕС • Риборозведення • Транспортні переходи • Наливні ставкові господарства • Лісосплав • Використання сапропелів 	<ul style="list-style-type: none"> • Рекреація • Водний спорт • Туризм • Екскурсії • Аматорське рибальство • Урбанізація територій • Боротьба з повенями • Рекультивація ландшафтів • Охорона природи • Охорона вод • Санітарні попуски • Меліорація • Резервування екосистем

Рекомендації до виконання завдання:

При викладенні змісту концепції проекту можна скористатися приблизним планом:

1. Перелік заходів, передбачених проектом розвитку/реконструкції гідротехнічного об'єкту (будівництво, переобладнання, облаштування тощо).
2. Використовуваний ресурс (земельна ділянка, водокористування, водоспоживання).
3. Очікуване джерело інвестицій проекту.
4. Отримуваний позитивний ефект (результат діяльності).
5. Економічний вираз ефекту (дохід від продажу тощо).
6. Негативні ефекти, що виникнуть при реалізації проекту (забруднення, додаткові ускладнення в режимі експлуатації ГТО тощо).

2. Задача оптимізації в управлінні водними ресурсами

2.1. Основні поняття і визначення

Задача оптимізації полягає в пошуку найкращого варіанту із можливих альтернатив; математично – в пошуку значень змінних $x_1, x_2 \dots x_n$ заданої цільової функції $\Phi(x_1, x_2 \dots x_n)$, при яких вона набуває екстремуму (мінімального або максимального значення); іншими словами в пошуку оптимальної програми $(x_1, x_2 \dots x_n)$ [2, 5, 6].

Формулювання задачі оптимізації в загальному вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_i \in X_i, i = 1 \dots n \\ \Phi(y) \rightarrow \min(\max) \\ y_i = f(x_i) \\ x_i \geq \text{const}; g(x_i, x_{i+1}) = \text{const} \end{array} \right. \quad (2.1)$$

- Керовані параметри/альтернативи;
- критерій оптимізації;
- математична модель, якою описується процес – цільова функція;
- константи та функції обмежень, які накладаються.

Задача 2. Розподілити витрату гідровузла $Q=2,2$ тис. м³/с між водоспоживачами з умови отримання максимального сукупного доходу. Нехай дохід від кожного із них описується функціями, відповідно, $d_1 = a_1(1 - e^{-b_1 q_1})$ та $d_2 = a_2(1 - e^{-b_2 q_2})$. При розв'язанні використати графічний метод побудови функції сукупного доходу. Вихідні дані прийняти за табл.2.

Таблиця 2

Вихідні дані до задачі 2

Номер варіанту	Параметр			
	a_1	b_1	a_2	b_2
1	9	2	6	1,5
2	5	0,5	3	0,7
3	12	3	10	2
4	1	0,2	0,6	0,3

Рекомендації до виконання завдання:

Якщо кількість змінних не перевищує двох, задача оптимізації може бути розв'язана графічно [4]. Оптимальному

плану розподілу витрати гідровузла буде відповідати екстремум функції сукупного доходу $\sum d_i$.

Для побудови графіку функції доходів складають множину варіантів розподілу витрати між двома споживачами $(q_{1,i}, q_{2,i})$. Результати обчислень представимо у вигляді табл.3.

Таблиця 3

Приклад оформлення таблиці для розв'язання задачі оптимізації графічним методом

Номер варіанту розподілу витрати	Витрата для споживача, тис. м ³ /с		Дохід споживача, млн. грн.		Сукупний дохід, млн. грн
	q_1	q_2	d_1	d_2	$\sum d_i$

2.2. Розв'язання задачі оптимізації за допомогою методу множників Лагранжа

Згідно *методу множників Лагранжа* для розв'язання задачі оптимізації вводиться нова цільова функція – Лагранжіван [8]. Лагранжіван утворюють шляхом додавання до цільової функції скалярного добутку двох векторів: вектору різниць між константами обмежень та функціями обмежень та вектору невідомих множників Лагранжа

$$L(X, \lambda) = \Phi(y_i) + \sum_{j=1}^k \lambda_j (b_i - g(x_i, x_{i+1})). \quad (2.2)$$

Задача 3. Нехай розглядаються два способи виробітку електроенергії: тепла та гідроенергія. Витрати на виробництво при кожному із способів виражаються функціями $g_1(y_1) = a_1 \cdot y_1 + b_1 \cdot y_1^2$ та $g_2(y_2) = a_2 \cdot y_2 + b_2 \cdot y_2^2$. Необхідно виробити 150 млн. кВт·годин електроенергії, розподіливши виробіток між двома виробниками так, щоб мінімізувати загальні витрати. Вихідні дані прийняти за табл.4. При розв'язанні використати метод множників Лагранжа.

Таблиця 4

Вихідні дані до задачі 3

Номер варіанту	Параметр			
	a_1	b_1	a_2	b_2
1	20	2	6	1
2	40	2	3	1
3	60	2	5	1
4	80	2	4	1

Рекомендації до виконання завдання:

Загальний алгоритм розв'язання задачі оптимізації методом множників Лагранжа такий:

1. Складання Лагранжіану.
2. Пошук часткових похідних функції Лагранжа за аргументами.
3. Часткові похідні прирівнюють до нуля.
4. Розв'язання отриманої системи рівнянь.

2.3. Розв'язання задачі оптимізації на основі економічних критеріїв оптимізації

Задача 4. Визначити ефективність будівництва крупного енергетичного об'єкту (гідроелектростанції) заданої потужності. Нехай тривалість будівництва до введення в експлуатацію першої черги – 5 років. В шостому році розрахункового періоду потужність використовується частково. Друга черга вводиться в шостому році, проектний виробіток досягається на 8 рік. Розрахунковий період складає 22 роки: 15 років після завершення будівництва, що відповідає терміну служби основного обладнання (з урахуванням морального зносу). Розміри інвестицій по роках будівництва прийняти за табл. 5. Тариф на електроенергію, що відпускається з шин електростанції в мережу – двоставковий; складові тарифу: 100 тис. грн/ МВт та 9,21 коп./ кВт·год. Амортизаційні відрахування на реновацію прийняти в розмірі 3,15%. Щорічні амортизаційні витрати прийняти за питомим показником 50 грн./ кВт встановленої потужності. Реальна відсоткова ставка

при розрахунку дисконтованих показників – 0,1. Банківська відсоткова ставка кредиту – 10% річних.

Визначити рентабельність по прибутку за розрахунковий період та термін окупності інвестицій.

Рекомендації до виконання завдання [10]:

Для оцінки прибутку за певний розрахунковий період T використовується показник **інтегрального дисконтованого чистого прибутку** (приведеного до теперішньої вартості), що є сумою дисконтованих доходів і витрат (із відповідними знаками) за розрахунковий період T [2, 5, 6]:

$$\Pi_{\text{дс}} = \sum_{t=1}^T \frac{(D_t - 3_t)}{(1 + E)^t}. \quad (2.3)$$

Оцінка також може проводитись за динамічним критерієм: – **інтегральним дисконтованим річним чистим прибутком**, що враховує зміни річних економічних показників,

$$\Pi_{\text{др}} = \sum_{t=1}^T \frac{\Pi_{pt}}{(1 + E)^t}. \quad (2.4)$$

Показники чистого прибутку Π_p та інтегрального дисконтованого чистого прибутку $\Pi_{\text{дс}}$ використовуються для оцінки як абсолютної, так і порівняльної економічної ефективності.

Створення об'єкту є економічно доцільним при виконанні умови

$$\Pi_{\text{дс}} > 0 \quad \text{або} \quad \Pi_p > 0. \quad (2.5)$$

Для проектів із тривалими термінами будівництва та доходами і витратами, що змінюються із часом, використовують динамічний показник – **дисконтована рентабельність інвестицій (коефіцієнт дисконтованого прибутку)** – відношення сукупного дисконтованого прибутку до дисконтованої суми інвестицій

$$R_{\text{ид}} = \frac{\Pi_{\text{др}}}{\sum_{t=1}^T \frac{K_t}{(1 + E)^t}}. \quad (2.6)$$

Загальна рентабельність по доходах – співвідношення суми дисконтованих доходів за період, що аналізується, до сумарних дисконтованих витрат

$$R_D = \frac{\sum_{t=1}^T D_t / (1 + E)^t}{\sum_{t=1}^T (B_t + K_t) / (1 + E)^t}. \quad (2.7)$$

Інвестиційний проект вважають економічно ефективним, якщо сумарні доходи більше витрат

$$R_D > 1. \quad (2.8)$$

Загальна рентабельність по прибутку – відношення суми дисконтованого поточного річного чистого прибутку до сумарних дисконтованих витрат

$$R_{\Pi} = \frac{\Pi_{\text{ДР}}}{\sum_{t=1}^T (B_t + K_t) / (1 + E)^t}. \quad (2.9)$$

Інвестиційний проект вважають економічно ефективним, якщо рентабельність по прибутку є більшою за внутрішню норму рентабельності, що встановлюється самим інвестором.

Приклад розрахунку наведено в табл. 6.

Таблиця 5

Вихідні дані для задачі 4

Показник	рік	Номер варіанту														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Введена потужність (на кінець року), МВт (по роках)	5	250	1000	350	350	500	150	200	300	1500	150	520	1000	80	500	1000
	6-22	500	2000	700	800	1100	300	400	660	2800	370	920	1400	150	1000	1800
Використовувана потужність, МВт	6	175	700	200	200	350	100	150	200	700	90	275	500	35	250	750
	7	425	1700	400	400	700	200	300	300	1500	200	450	1000	75	500	900
	8-22	500	2000	700	800	1100	300	400	660	2800	370	920	1400	150	1000	1800
Кількість годин використання T , год/рік	5-22	7000	7000	6000	6500	7300	5000	5200	5500	7500	5200	6300	6700	4900	6800	7500

Капіталовкладення K _і , млн. грн. (по роках)	1																	
	2		120	480	240	300	420	102	144	180	1020	108	252	480	49,8	420	540	270
	3		210	840	400	500	700	170	240	300	1700	180	420	800	83	700	900	
	4		240	960	420	525	735	178	252	315	1785	189	441	840	87,15	735	945	
	5		240	960	420	525	735	179	252	315	1785	189	441	840	87,15	735	945	
	6		210	840	400	500	700	170	240	300	1700	180	420	800	83	700	900	
	всього	1080	4320	2000	2500	3500	850	1200	1500	8500	900	2100	4000	415	3500	4500		

Таблиця 6

Приклад розв'язання задачі 4

Показники		Роки розрахункового періоду																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ																							
1	Введена потужність (на кінець року), МВт	-	-	-	-	1000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
2	Потужність, що використовується, МВт	-	-	-	-	-	700	1700	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
3	Річний виробіток, млрд. кВт·год	-	-	-	-	-	4,9	12,0	13,9	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
4	Витрати ел. ен на власні потреби, млрд.кВт·год	-	-	-	-	-	0,4	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
5	Відпуск ел. ен., млрд.кВт·год	-	-	-	-	-	4,5	11,0	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
ГРОШОВІ ПОТОКИ, млн. грн..																							
6	Капітало- вкладення K_t	60	120	210	240	240	210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Щорічні витрати (без амортиз. відрахувань)	-	-	-	-	-	43	92	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
8	Амортизаційні відрахування	-	-	-	-	-	27,4	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
9	% за кредит	6	18	39	63	87	108	93	77	62	46	31	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Погашення кредиту	-	-	-	-	-	154,3	154,3	154,3	154,3	154,3	154,3	154,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Дохід від реалізованої ел. ен	-	-	-	-	-	126	308	358	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361
КРИТЕРІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ																							
12	Щорічні витрати B_t	6	18	39	63	87	178	218	211	196	180	165	149	134	134	134	134	134	134	134	134	134	134

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
13	Поточний річний чистий прибуток Π_{pt}	-6	-18	-39	-63	-87	-52	89	147	163	181	196	212	227	227	227	227	227	227	227	227	227	227
14	$(1+E)^t$	1,1	1,21	1,33	1,46	1,61	1,77	1,95	2,14	2,36	2,59	2,85	3,14	3,45	3,80	4,18	4,59	5,05	5,58	6,12	6,72	7,40	8,14
15	Дисконтований річний чистий прибуток $\Pi_{pt}/(1+E)^t$	-5,5	-14,9	-29,3	-43,0	-54,0	-29,6	45,9	68,7	69,0	69,8	68,8	67,5	65,8	59,8	54,4	49,4	45,0	40,9	37,2	33,8	30,7	27,9
Інтегрований дисконтований чистий прибуток $\Pi_{дп}=658,2$																							
16	Дисконтовані капіталовкладення $K_t/(1+E)^t$	54,5	99,2	157,8	163,9	149,0	118,5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Сумарні дисконтовані капіталовкладення $\sum K_t/(1+E)^t=743,0$																							
Дисконтована рентабельність інвестицій (коефіцієнт дисконтованого прибутку) $R_{ид}=658,2/743,0=0,886$																							
17	Витрати B_t+K_t	66	138	249	303	327	361	338	331	316	301	285	270	254	100	100	100	100	100	100	100	100	100
18	Дисконтовані витрати $(B_t+K_t)/(1+E)^t$	60	114	187	207	203	204	174	155	134	116	100	86	74	26	24	22	20	18	16	15	13	12
Сумарні дисконтова ні витрати $\sum (B_t+K_t)/(1+E)^t=1979,7$																							
Загальна рентабельність по прибутку $R_{пд}= \Pi_{дп}/\sum (B_t+K_t)/(1+E)^t=658,2/1979,2=0,33$																							

19	Щорічні витрати B_t	60	120	210	240	240	253	92	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20	Чистий дохід $D_t - B_t$	-60	-120	-210	-240	-240	-127	216	258	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261
21	Дисконтований чистий дохід $(D_t - B_t) / (1 + E)^t$	-54	-99	-158	-164	-149	-72	111	120	110	101	91	83	76	69	62	57	52	47	43	39	35
Інтегрований дисконтований чистий прибуток $\Pi_{\text{ДС}} = \sum (D_t - B_t) / (1 + E)^t = 431,7$																						
22	Сума $(D_t - B_t) / (1 + E)^t$ нарастаючим підсумком	-54	-154	-311	-475	-624	-696	-585	-465	-355	-254	-163	-80	-4	65	127	184	236	283	325	364	400
Період повернення капіталу $T_{\text{П}} = 13$ років.																						

Висновок: Результати розрахунків підтверджують ефективність інвестиційного проекту, що розглядається, якщо (оскільки):

- інтегрований дисконтований чистий прибуток $\Pi_{\text{ДС}}$ та сума дисконтованого річного чистого прибутку $\Pi_{\text{ДР}}$ більше нуля;
- поточний річний чистий прибуток $\Pi_{\text{Р}}$, починаючи з 2-го року експлуатації, більше нуля та досягає максимальної прибутковості в 227 млн. грн. на 6-ий рік з початку використання об'єкту на повну потужність;
- дисконтова на рентабельність інвестицій $R_{\text{д}}$ достатньо висока;
- період повернення капіталу менше розрахункового періоду, що дозволить вже через 9 років після введення об'єкту в експлуатацію здійснювати нові інвестиції (розширене виробництво) за рахунок прибутку.

2.4. Розв'язання задачі оптимізації на основі аналізу ризиків

Прийняття рішень в гідроенергетиці часто здійснюється в умовах невизначеності та ризику [4, 9, 11-13]. Оптимальним при цьому можна вважати варіант із мінімальним ризиком [9].

Задача 5. Розглядаються альтернативні варіанти розвитку Дніпровського каскаду за рахунок добудови нових потужностей (варіанти 1-9) (див. також [14, 15]. По кожному із варіантів наведено затрати на його реалізацію, гарантована потужність 90%-ої забезпеченості, приріст середньобагаторічного виробітку електроенергії та “ризиковані” потужності (табл.7). Вибір оптимального варіанту провести на основі аналізу ризиків.

Таблиця 7

Вихідні дані до задачі 5

Показники	Альтернативні варіанти									
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
Затрати $\frac{n}{m} \cdot C$, млн. у. о.	0	390	447	485	515	820	1210	1267	1305	1335
Приріст середньо багаторічного виробітку електроенергії $\frac{n}{m} \cdot E$, млн. кВт · годину	0	53	85	105	120	1017	1070	1102	1122	1137
Гарантовані потужності 90% забезпеченості $\frac{n}{m} \cdot N_{90\%}$, МВт	0	89	170	243	312	1000	1089	1170	1243	1312
«Ризиковані» потужності $\frac{n}{m} \cdot \Delta N$, МВт	0	23	54	93	136	120	143	174	213	256

n - порядковий номер студента за списком в підгрупі (групі);
 m - номер підгрупи (групи)

Рекомендації до виконання завдання:

Розв'язання задачі проводиться в такій послідовності:

1. Формування бальних оцінок для кожного виду позитивних і негативних ефектів із використанням модулю шкали.

2. Складання бальних оцінок власних ризиків та вигод для кожного із варіантів

3. Складання таблиці рішень на основі бальних оцінок повного ризику при попарному порівнянні альтернатив.

4. Визначення оптимального варіанту.

Оскільки позитивні та негативні ефекти від прийняття кожного із варіантів виражені в різних одиницях вимірювання, виникає необхідність застосування їх бальної оцінки [9, 14, 15].

Формування бальних оцінок ризику для факторів і параметрів, виражених кількісно, можна здійснити на основі логарифмічної шкали. В загальному випадку бальна оцінка ризику для деякого параметра y_i , в балах, буде:

$$r(y_i) = \mu_i \cdot \lg y_i + y_{i,0}, \quad (2.10)$$

де μ_i – модуль шкали, $y_{i,0}$ – нуль-пункт (початкове значення) на універсальній (інтегральній) логарифмічній шкалі довжиною L , для параметра y_i :

$$\mu_i = \frac{L}{\lg y_{i,\max} - \lg y_{i,\min}}, \quad y_{i,0} = -\mu_i \lg y_{i,\min} \quad (2.11)$$

$y_{i,\max}$, $y_{i,\min}$ – максимальне й мінімальне значення параметра y_i .

В задачі можна прийняти: довжина шкали – $L=10$; координата нуль-пункту $y_{i,0}=0$.

За умовою, оптимальний варіант розвитку каскаду повинен характеризуватися мінімальним сукупним ризиком. Під сукупним ризиком $r_{i,j}$ будемо розуміти ризик, що складається із власного ризику варіанту l_i , який виникає при його прийнятті, та ризику втрачених можливостей g_j , що виникає через те, що, прийнявши певний варіант, ми відмовляємось від реалізації решти альтернативних варіантів рішення [9, 14, 15]:

$$r_{i,j} = l_i + g_j; \quad i, j = \overline{0, n}; \quad i \neq j. \quad (2.12)$$

Задачу прийняття рішення на основі порівняння варіантів можна розглядати як задачу попарного оцінювання варіантів та вибору одного з них (кращого, оптимального) $a_{i,opt}$ з деякої множини A допустимих варіантів.

При цьому як один із варіантів повинен бути також розглянутий “нульовий варіант” a_0 – відмова від будь якого рішення (“нульова альтернатива”).

Відповідно, сімейство рішень опишеться таблицею (матрицею) рішень.

Прийняття рішення із використанням таблиці рішень також відбувається при попарному розгляді варіантів. Із двох варіантів, що розглядаються, перевага надається тому, що характеризується меншим ризиком. Після вибору кращого із двох варіантів, його порівнюють із наступною альтернативою, доки не буде знайдено варіант із мінімальним ризиком [9, 14, 15]..

Приклад розв’язання задачі 5.

Приклад розв’язання задачі 5 наведено в табл. 8, 9.

Послідовність міркувань при пошуку оптимального варіанту із використанням таблиці рішень (табл.9) така:

1. Порівнюють варіанти a_0 та a_1 . Сукупний ризик при попарному порівнянні цих варіантів: при прийнятті рішення a_0 та відмові від варіанту a_1 ризик складає $r_{0,1}=10,70$; при прийнятті рішення a_1 та відмові від варіанту a_0 ризик складає $r_{1,0}=13,11$. Серед двох розглянутих кращим є варіант a_0 . Варіант a_1 відкидається

2. Варіанти a_0 та a_2 . $r_{0,2}=12,12$; $r_{2,0}=14,50$. Серед двох розглянутих кращим є варіант a_0 . Варіант a_2 відкидається

3. Варіанти a_0 та a_3 . $r_{0,3}=12,83$; $r_{3,0}=15,38$. Серед двох розглянутих кращим є варіант a_0 . Варіант a_3 відкидається

4. Варіанти a_0 та a_4 . $r_{0,4}=13,32$; $r_{4,0}=16,00$. Серед двох розглянутих кращим є варіант a_0 . Варіант a_4 відкидається

5. Варіанти a_0 та a_5 . $r_{0,5}=17,51$; $r_{5,0}=16,35$. Серед двох розглянутих кращим є варіант a_5 . Варіант a_0 відкидається

6. Варіанти a_5 та a_6 . $r_{5,6}=34,03$; $r_{6,5}=34,56$. Серед двох розглянутих кращим є варіант a_5 . Варіант a_6 відкидається

7. Варіанти a_5 та a_7 . $r_{5,7}=34,16$; $r_{7,5}=34,90$. Серед двох розглянутих кращим є варіант a_5 . Варіант a_7 відкидається

8. Варіанти a_5 та a_8 . $r_{5,8}=34,26$; $r_{8,5}=35,22$. Серед двох розглянутих кращим є варіант a_5 . Варіант a_8 відкидається

9. Варіанти a_5 та a_9 . $r_{5,9}=34,35$; $r_{9,5}=35,51$. Серед двох розглянутих кращим є варіант a_5 . Варіант a_9 відкидається

Відповідь: Оптимальним є варіант a_5 .

Таблиця 8

Результати оцінювання власних ризиків l_i та вигод g_j варіантів, бал

	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
Втрати	0	13,12	14,51	15,38	16,00	16,35	17,04	17,38	17,70	18
Надбання	0	10,71	12,12	12,84	13,32	17,51	17,68	17,81	17,91	18

Таблиця 9

Результуюча таблиця рішень

	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
a_0		10,70	12,12	12,83	13,32	17,51	17,68	17,81	17,91	18
a_1	13,11		25,24	25,95	26,44	30,63	30,80	30,93	31,03	31,11
a_2	14,50	25,21		27,34	27,82	32,02	32,19	32,32	32,42	32,50
a_3	15,38	26,08	27,50		28,70	32,90	33,07	33,20	33,29	33,38
a_4	16,00	26,70	28,12	28,83		33,51	33,68	33,81	33,91	34,00
a_5	16,35	27,05	28,47	29,18	29,67		34,03	34,16	34,26	34,35
a_6	17,04	27,75	29,16	29,88	30,37	34,56		34,86	34,96	35,04
a_7	17,38	28,08	29,50	30,22	30,70	34,90	35,07		35,29	35,38
a_8	17,70	28,41	29,82	30,54	31,03	35,22	35,39	35,52		35,70
a_9	18	28,70	30,12	30,83	31,32	35,51	35,68	35,81	35,91	

Рекомендована література

Базова

1. ДБН В.2.4-3:2010. Гідротехнічні, енергетичні та меліоративні системи і споруди, підземні гірничі виробки. Гідротехнічні споруди. Основні положення. Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. 37 с.
2. Лаукс Д., Стединжер Дж., Хейт Д. Планирование и анализ водохозяйственных систем / Пер. с англ. Москва : Энергоатомиздат, 1984. 400 с.
3. Методические указания по составлению правил использования водных ресурсов водохранилищ гидроузлов электростанций. Москва : РАО «ЕЭС России», 1999. 56 с.
4. Векслер А. Б., Ивашинцов Д. А., Стефанишин Д. В. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений. СПб.: Изд-во «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2002. 590 с.
5. Клима И. Оптимизация энергетических систем / Пер. с чешск. Под ред. В. Р. Огорокова. Москва : Высшая школа, 1991.
6. Комплексный анализ эффективности технических решений в энергетике/ Под ред. В. Р. Огорокова и Д. В. Щавелева. Л. : Энергоатомиздат, 1985.
7. Гидроэнергетика и окружающая среда. Под общ. ред. Ю. Ландау и др. Киев : Либра, 2004. 484 с.
8. Бертсекас Д. Условная оптимизация и методы множителей Лагранжа. Пер. с англ. Москва: Радио и связь, 1987. 400 с.
9. Стефанишин Д.В. Вибрані задачі оцінки ризику та прийняття рішень за умов стохастичної невизначеності. К. : Азимут-Україна, 2009. 104 с.
10. ГКД 340.000.001-95 Визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику. Методика. Загальні методичні положення. К. : Міненерго України, 1995. 34 с.

Додаткова

11. Василенко В. А. Теорія і практика розробки управлінських рішень. Київ : ЦУЛ, 2003. 420 с.
12. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений / Пер. с нем. М.: Мир, 1990.

- 13.Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем / Пер. с англ.; Под ред. И. А. Ушакова. М. : Мир, 1980. 604 с.
- 14.Стефанишин Д. В. Про перспективи гідроенергетики в Україні та вибір варіанту розвитку Дніпровського каскаду з врахуванням ризику. *Гідроенергетика України*. №3, 2010. С. 5-11.
- 15.Стефанишин Д. В. Обґрунтування оптимального сценарію введення нових агрегатів на гідроакумуючих електростанціях в Україні з врахуванням ризику. *Гідроенергетика України*, №3-4, 2018. С. 24-29.
- 16.Пешнин А. Г., Волшаник В. В., Кулаков Ю. Н., Родионов В. Б. Экологические и ресурсные составляющие экономической оценки объектов электроэнергетики. *Гидротехническое строительство*, №9, 2002. С31-34